

# 冬季のレール温度収縮を考慮した 安全な保守作業条件の提案



**西宮 裕騎**  
Yuki Nishinomiya  
軌道技術研究部  
軌道構造研究室  
主任研究員



**玉川 新悟**  
Shingo Tamagawa  
軌道技術研究部  
軌道構造研究室  
主任研究員



**山岡 大樹**  
Daiki Yamaoka  
軌道技術研究部  
軌道構造研究室  
研究員

## はじめに

冬季は温度が低下し、レールが収縮しようとし、この状態で、レールなどを支える**バラスト**<sup>®</sup>の交換作業を行った場合、一時的にレールの支えがなくなるため、レールは、自身が収縮しようとする力によって動いてしまいます。特に曲線区間では、曲がったレールが収縮することで、本来の曲線から形が変わってしまいます。また長いレール、すなわち**ロングレール区間**<sup>®</sup>では収縮力が大きいため、その作業中にレールが動く可能性が高まります。

この理由から、多くの鉄道事業者はロングレール区間における冬季低温時の軌道保守に対して作業制限（以下「作業制限<sup>1)</sup>」と称します）を設けています。ただし、現在の作業制限は大

まかな区分で設定されており、制限される範囲が広いと、冬季に十分な保守作業を行うことができません。また近年、軌道保守の技術者不足が進んでいるため、冬季の作業制限を緩和して、作業量を年間を通じて平準化していくニーズが高まっています。

そこで、本研究では、冬季低温時の保守作業がレールに及ぼす影響を把握するとともに、保守作業が可能な温度と施工延長の範囲を広げるための新しい作業制限を提案しました。

## 冬季のレール収縮

### 道床交換作業の概要

**バラストの劣化**<sup>®</sup>や土砂混入などの理由によりバラストを交換することがあり、古いバラス

### バラストおよびバラスト軌道

レールおよびまくらぎをレール締結装置で結合してはしご状の軌きょうを構成し、バラストとよばれる砕石で支持する軌道構造です。軌道の位置調整が容易に行えることから、最も広く普及している軌道構造です。

### ロングレール区間

標準的な25mのレールを連続溶接して、200m以上にしたレールです。騒音・振動の防止や軌道保守量の軽減が図れることから、基幹線区を中心に普及しています。レールの温度変化により、レールが伸縮するほか、レール長手方向の力である軸力の変化が大きくなるため、各種管理が必要となります。

### バラストの劣化

バラストを長期間使用すると、列車走行によって細粒化したバラストが水とともに表面に噴出する噴泥という現象が生じます。バラストがこのような状態になると、所定の性能を発揮できません。そこで、バラストの入れ替え作業を行います。この作業を道床交換とよんでいます。

トを除去した後 (図1 (a)),  
新しいバラストを投入しま  
す (図1 (b))。

### レール収縮の影響

冬季低温時にはレール  
が収縮しようとしませんが、  
レールがレール締結装置と  
まくらぎを介してバラスト  
に拘束されているため、ロ  
ングレールの中央付近は収  
縮できず、レールに引張方  
向のレール軸方向の力 (以  
下「レール軸力」と称しま  
す) が生じます (図2 (a))。  
レールが固定された際の  
温度と同じ温度であれば、  
レール軸力が0となり、こ  
の温度を中立温度<sup>☞</sup>とよん  
でいます。

レール軸力が蓄えられた  
状態でバラストの交換作業  
を行うと、一時的にレール  
の支持がなくなり、特に曲  
線区間では、曲がったレール  
が引っ張られることで直  
線に近づこうとするため  
に、レールが曲線の内側方  
向に変位 (以下「レール内  
方変位」と称します) して  
しまいます (図2 (b))。さ  
らに、元々の曲線のレール  
長さよりも、レール内方変  
位が生じた後のレール長さ  
の方がわずかに短くなりま  
す。前述のとおり、ロング  
レールの中央付近は収縮で  
きないことからレール軸力  
が生じますが、レールが収

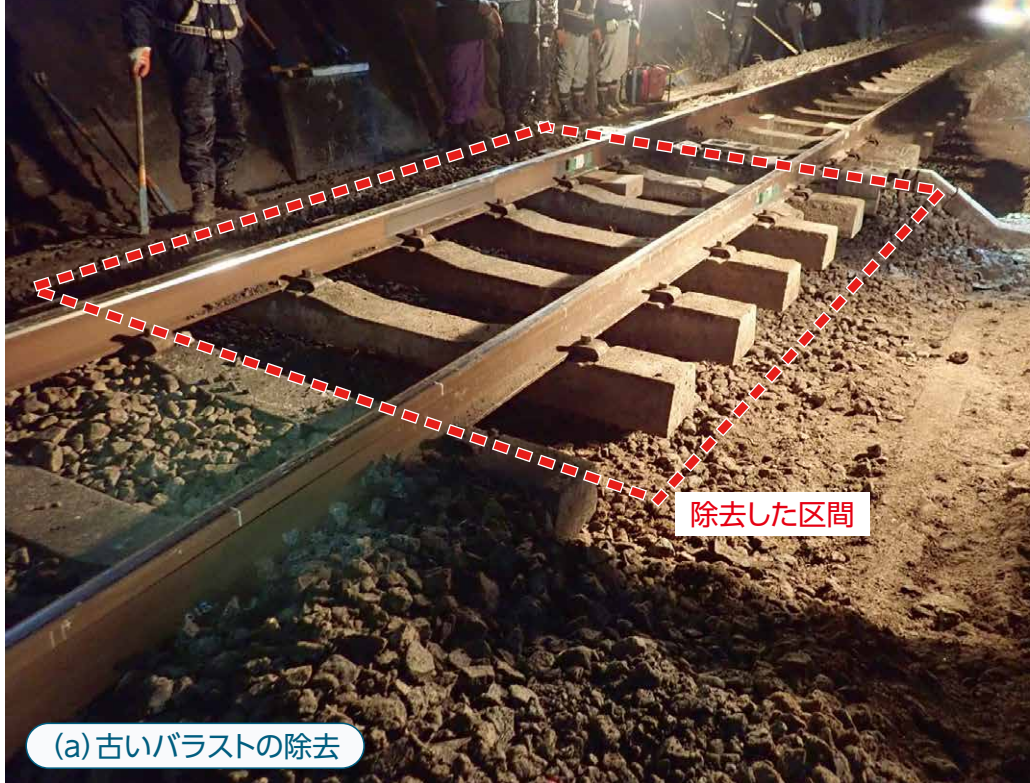


図1 バラスト交換作業の様子

### ☞ 中立温度

レール軸力が0となる際の温度を指します。レールに摩擦が作用しないと仮定した場合、レールをレール締結装置でまくらぎに固定するときの敷設時温度に相当します。また、レールは最高レール温度60℃程度から最低レール温度-10℃程度となるのが一般的であるため、ロングレールは、その中間の25～35℃の温度帯域で軸力が0となるように敷設する必要があります。この目標とする温度をロングレールの設定温度とよんでいます。

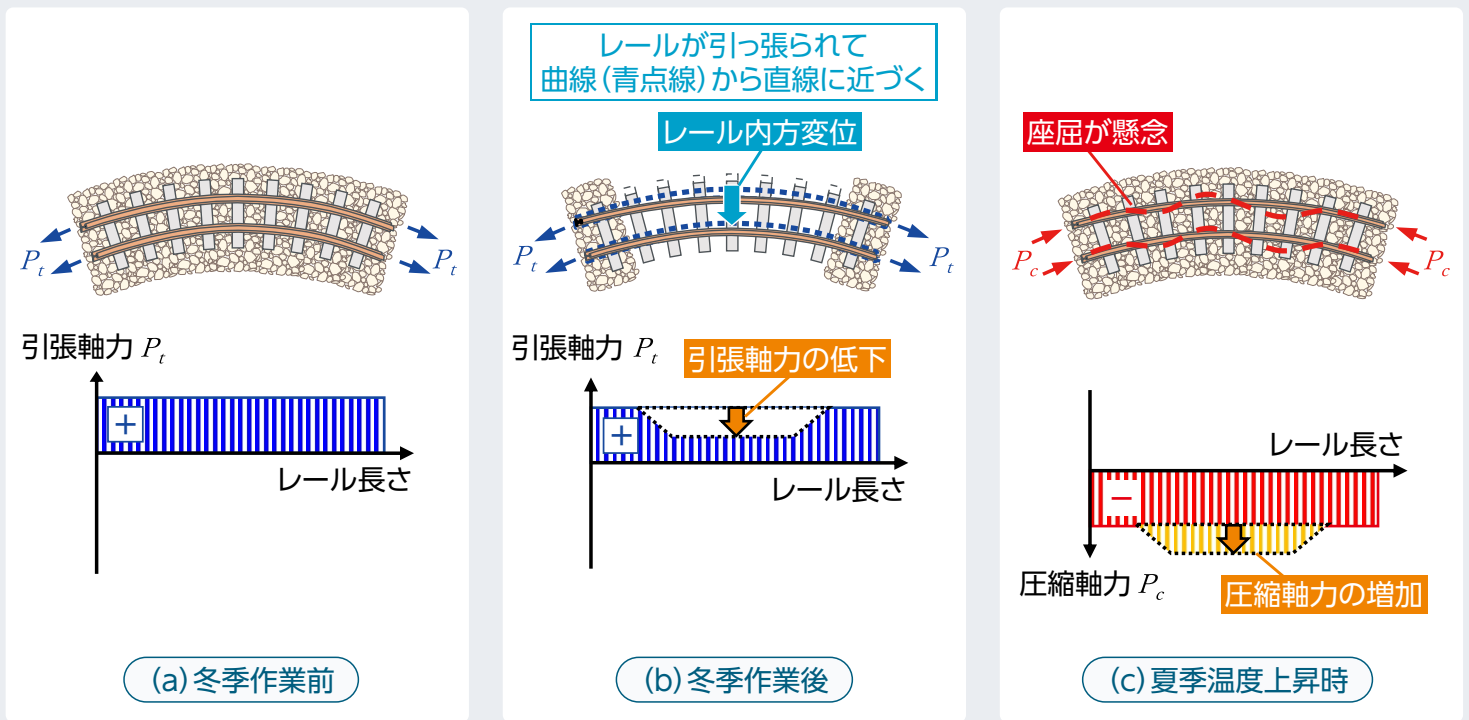


図2 冬季のレール収縮によるバラスト交換時の影響

縮して短くなってしまった場合には、その収縮量に応じてレール軸力が減少します。しかし、これは引張側のレール軸力が減少して圧縮側に近づいたことになるため、この状態から夏季にレール温度<sup>※</sup>が上昇すると、圧縮側に变化した軸力の分、圧縮軸力の最大値が大きくなります(図2(c))。このため、夏季の温度上昇時の横方向へのレール変位に対する安定性が低下する可能性があります。

曲線半径400mの軌道において、中立温度からの温度低下量が約20℃の環境下で、軌道延

#### ※ レールの温度伸縮

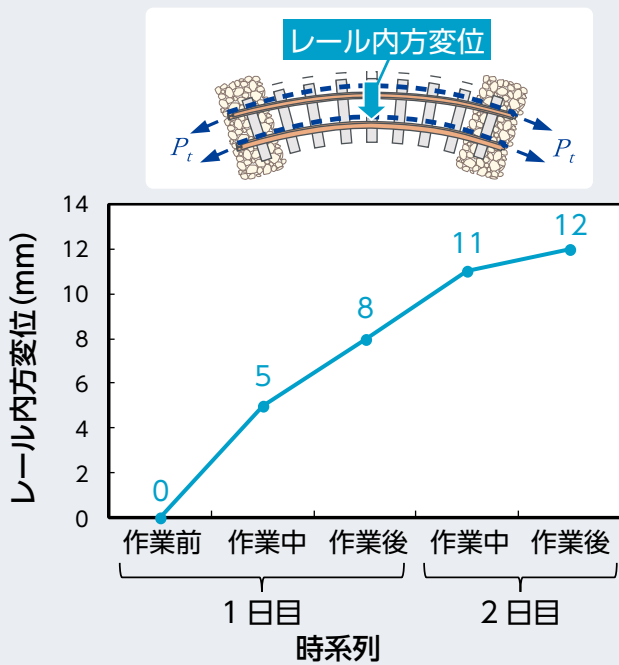
長さ25mのレールの温度が40℃变化した場合、滑らかな床にあるレールであれば、長さが約±11mm変化します。しかし、実際の線路では、レールがレール締結装置とまくらぎおよび道床バラストで拘束されているため、伸びにくくなります。長さ約200m以上のロングレールの中央部では完全にレール伸縮が拘束され、伸縮しようとする力はレール内に軸力として蓄えられます。JIS 50kgNレールの場合、温度が40℃变化したときのレール軸力は約603kNになります。

長16mのバラスト交換を2日間に分割して実施した場合の事例を紹介します。測定の結果、交換作業の進行にともない、レール内方変位が進行している様子がわかります(図3(a))。また、作業後にレール温度に対するレール軸力の関係が変化し、中立温度が0.34℃低下していることがわかりました(図3(b))。中立温度の変化は小さかったものの、同一箇所での作業が繰り返される可能性や、数値シミュレーションによる評価<sup>2)</sup>では、施工延長の増加により中立温度が急減する傾向がみられたことから、適切に管理すべき指標と考えます。

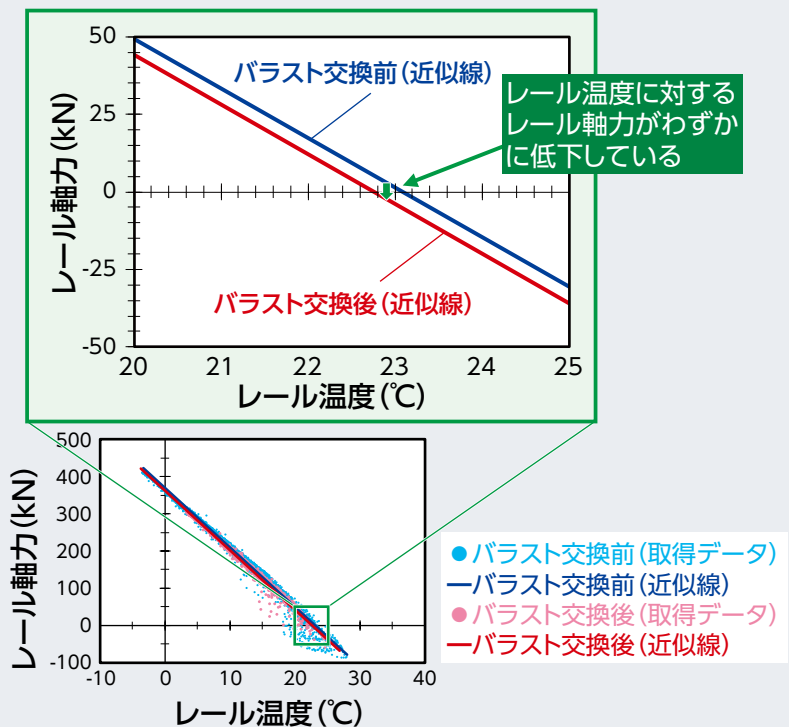
この測定例からわかるとおり、曲線区間での発生が回避できないレール内方変位と、その結果として生じるレール軸力の変化量を推定し、低温時の作業制限を適切に設定する必要があります。

### 新たな低温時の作業制限の提案 現行の作業制限の問題点

現在用いられているバラスト交換に関する作



(a) レール内方変位の推移



(b) レール中立温度の推移

(レール温度に対するレール軸力の関係)

図3 バラスト交換時のレール内方変位とレール中立温度の推移

業制限には、曲線半径ごとに、施工延長と中立温度からのレール温度低下量の許容値である許容温度低下量が示されています(表1)。具体的な例を示しますと、レール温度低下量が40℃を超える厳寒期であれば施工延長が5mに制限されるほか、それ以外の温度では、施工延長25m以下の細かい区分けがないことがわかります。曲線半径ごとに、作業可能な施工延長と許容温度低下量との関係が細かく区分けされていれば、作業可能な範囲が広がりますが、現行では定められていません。これは、表1が1983年の策定案<sup>1)</sup>を基本としており、作業の機械化による施工可能延長の増加や、少ない技術者で対応するために保守計画を効率化して年

間保守作業を平準化している近年の状況を必ずしも想定していないためです。近年の施工延長や保守計画に対応させるためには、作業制限の区分を細分化し、作業可能な条件を増やす必要があります。具体的なニーズとして、バラスト交換の総延長は10～15m程度が一般的であることから、この施工延長に対する条件の細分化を目標とします。例えば表1に示す現行の作業制限において、曲線半径800m～2000mでレール温度低下量が10℃までの場合は施工延長25m以下の作業が可能ですが、10℃を超えた場合、作業ができません。この場合、施工延長を15mに制限して作業が可能となれば、現状のニーズにマッチするため有用と考えます。

表1 冬季低温時のロングレールの作業制限(在来線)<sup>1)</sup>

作業内容	曲線半径 R	施工延長 L	許容温度低下量
バラスト交換, その他準ずる作業	2000m ≤ R < 直線	L ≤ 25m	25℃
	800 ≤ R < 2000m		10℃
	R < 800m		5℃
	全区間	L ≤ 5m	40℃

※提案する制限に該当する部分のみ抜粋・一部改変

## 新たな作業制限の考え方

低温時のバラスト交換の影響を、数値シミュレーションにより評価しました<sup>2)</sup>。使用したモデルを図4に示します。レールとまくらぎをはり要素でモデル化し、レールとまくらぎを締結する構造と、バラストがまくらぎを支持する力は、ばね要素でモデル化しています。バラスト交換は、まくらぎを支持するばね要素を撤去して模擬しました。このモデルを用い、軌道条件と作業条件を変えて約1200通りの計算を行い、バラスト交換前後のレール軸力の変化とレール内方変位を求めました。その

一例を図5に示します。図5は施工延長20mの結果を示しており、曲線半径とレール温度低下量ごとに最大軸力変化と最大内方変位をまとめたものです。曲線半径が小さくなるほど、レール温度低下量が大きくなるほど、各値が大きくなる傾向がわかります。ただし、これらの結果から、レール内方変位を避けることは困難であり、これにともなうレール軸力の変化も避ける

延長：600m (600mm×1000 本まくらぎ)

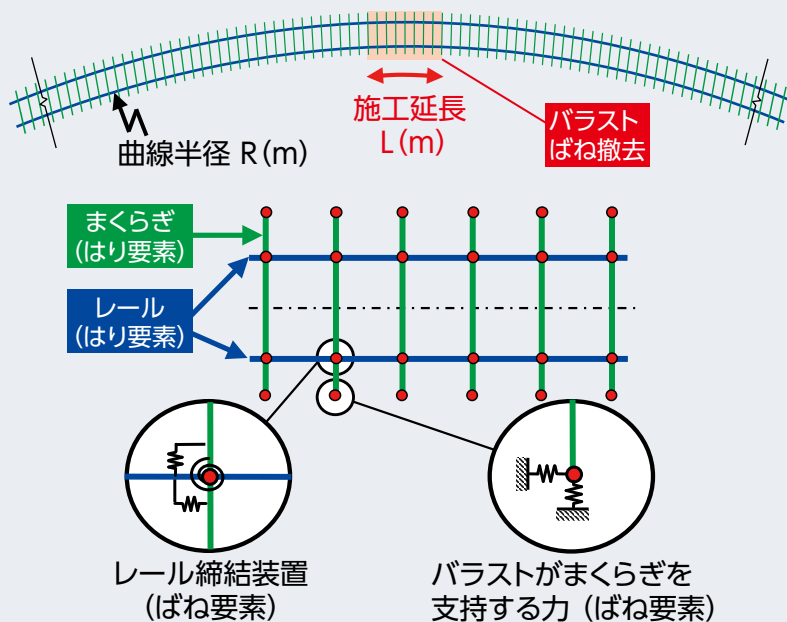


図4 低温時のバラスト交換を想定した数値シミュレーションモデル

ことができないことがわかりました。このため、低温時の作業制限は、レール内方変位の発生とレール軸力の変化をある程度許容したうえで、両者に制限を設けて設定することが妥当であると考えます。具体的には以下の2つの制限を設けます。

制限①レール軸力

制限②レール内方変位

図5 数値シミュレーションの一例

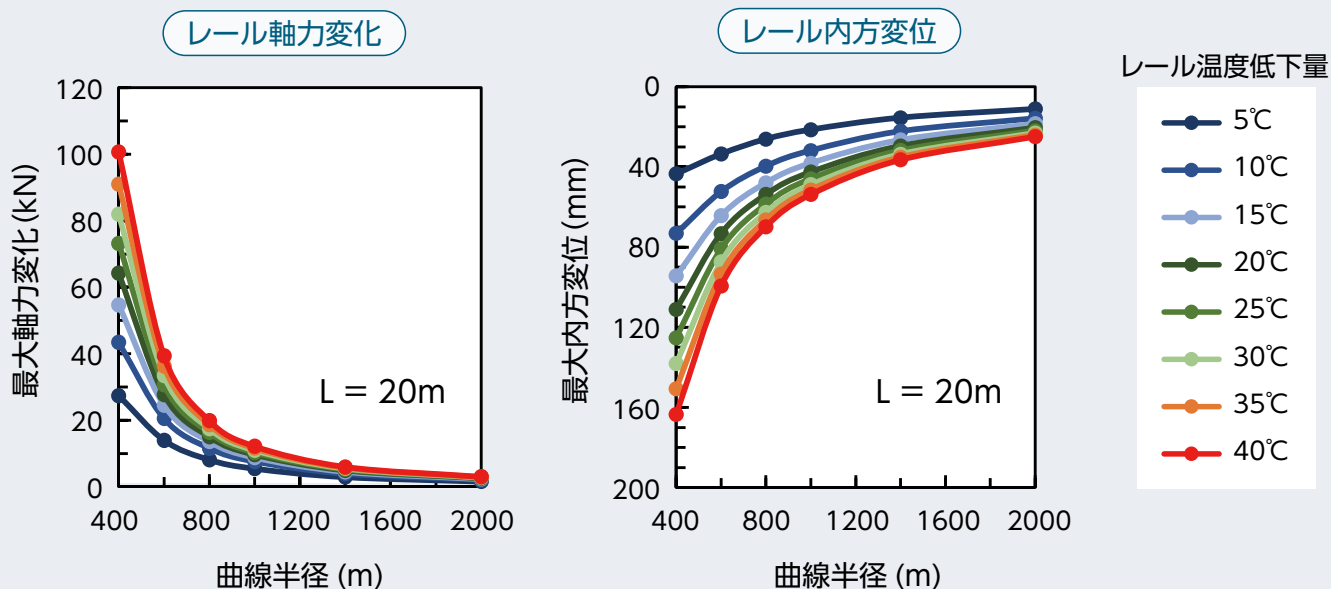


表2 バラスト交換作業に対して提案手法を適用した場合の制限の例

	曲線半径 R	施工延長 L	許容温度低下量
提案した作業制限	1200m ≤ R < 直線	10m < L ≤ 15m	50℃
	R = 1100m		32.5℃
	R = 1000m		15℃
	R = 900m		10℃
	600m ≤ R ≤ 800m		5℃
現行の作業制限 (表1を再掲)	2000m ≤ R < 直線	L ≤ 25m	25℃
	800 ≤ R < 2000m		10℃
	R < 800m		5℃
	全区間		L ≤ 5m

これらの内容を詳しく説明します。

### レール軸力の制限

低温時作業によりレール軸力が減少し、その分、夏季に圧縮軸力が増加します(図2(c))。そのため、レール軸力の制限は夏季の座屈防止の観点から決定します。ここでは、ロングレールの保守管理において、再整備の判断が必要となるレール軸力が、レール温度に換算して3.5℃であることから、同値を目安値としました。

### レール内方変位の制限

レール内方変位の制限は、車両に電力を供給する架線と軌道との横断方向の距離や、橋りょう、トンネル、ホームなどとの距離を確保する観点と、生じた軌道変位を作業後に元に戻すことができる範囲内に抑える観点から決定します。これらの制限値は現場の状況、作業人員および作業機材などにより異なるため、個別の条件で設定できるようにしました。

### 新たな作業制限の適用例

上記の考え方にに基づき、曲線半径と施工延長ごとに、許容温度低下量を整理し、新たな作業制限を提案しました。ここでは、提案した作業制限の一例として、表2に施工延長10m～15mの場合を示します。なお、表中には現行の作業制限を併記しています。表2より、レール温度の低下量が40℃を超えた場合、現行の作業制限では全区間で5m以下の作業しかできなかった一方で、提案した作業制限では、曲線半径1200m以上であれば15m以下の施工が可

能となり、厳寒期でも対応できます。また、提案した作業制限は、曲線半径1000m以上の場合において、現行の作業制限よりも許容温度低下量を大きく設定できます。このように、曲線半径、施工延長、許容温度低下量を細分化して求めることで、施工可能な条件を増やすことが可能となりました。なお、ここで示した作業制限は、曲線半径や施工延長による区分の一部を抜粋したものであり、かつ、現場の状況に応じて選択可能な各制限値をある目安値として設定した場合となります。提案した作業制限の詳細については文献2に詳しく記載しております。

### おわりに

本研究では、冬季低温時の保守作業にともなうレール内方変位とレール軸力の変化を評価し、低温時の作業制限を提案しました。実務への適用にあたっては、数値シミュレーションで得た結果を集約し、施工の個別条件における選定が容易に行えるノモグラムを提供しています。提案した作業制限を適用することで、保守作業の平準化に貢献できると考えています。RRR

### 文献

- 1) 家田仁：ロングレール敷設区間における保守作業制限の改正(案)および解説，鉄道線路，Vol.31，No.8，pp.18-22，1983
- 2) 玉川新悟，西宮裕騎，瀬織智也：冬季の道床交換作業がロングレール軌道に及ぼす影響のFEM解析と低温時作業制限の提案，日本機械学会論文集，Vol.87，No.898，2021